

Zdeněk PEŘINA¹

**OVĚŘOVÁNÍ HODNOT POŘÍZENÝCH INFRAČERVENÝM RADIOMETRICKÝM
DLOUHOVLNNÝM SYSTÉMEM V ZÁVISLOSTI NA VYBRANÝCH OKOLNÍCH VLIVECH
PROSTŘEDÍ**

**VERIFICATION OF THE VALUES TAKEN FROM INFRARED RADIOMETRIC
LONGWAVES SYSTEM AS FUNCTION OF SELECTED ENVIROMENTAL INFLUENCES**

Abstrakt

Cílem laboratorního ověřování bylo zjistit chování použitého infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému za účelem stanovení determinačních závislostí okrajových podmínek měření na kvantifikaci reprodukováných výsledků infračerveným radiometrickým systémem, tak aby bylo možno konkrétní infračervený radiometrický systém využívat nejen ke kvalitativnímu, ale i ke kvantitativnímu měření povrchových teplot nekontaktní infračervenou metodou ve stavební diagnostické praxi, případně odvozovat další jevy a parametry měřitelné tímto systémem.

Klíčová slova

Termografický, radiometrický, systém, ověřování, okrajové podmínky, kvalitativní metoda, kvantitativní metoda, diagnostika.

Abstract

The aim of laboratory verification was to determine the behavior of infrared radiometric long waves system to determine the dependence determination of boundary conditions on the quantification of measurement of the reproduced results by radiometric infrared system so that a particular infrared radiometric system could be used not only for qualitative but also for the quantitative measurement of surface temperature by infrared non-contact method of construction diagnostic practice, or other phenomena and measurable parameters of this system could be derived.

Keywords

Thermographic, radiometric, system, verification, boundary conditions, a qualitative method and quantitative method of diagnosis.

1 ÚVOD

Zvyšující se legislativní požadavky na tepelnou ochranu budov (viz ČSN 73 0540 [1]) po diagnostických prostředcích vyžadují dne již nejen kvalitativní vyhodnocení poruchy, ale rovněž také kvantifikaci zjištěných závad. Zda lze pro kvantifikaci zjištěných skutečností použít, v diagnostické praxi níže specifikovaný, infračervený radiometrický dlouhovlnný systém (viz kapitola 2), a jak jsou hodnoty zaznamenané tímto diagnostickým přístrojem ovlivněny okolními vlivy, řeší autorem navržené laboratorní měření.

K tomuto ověřovacímu laboratornímu měření bylo přistoupeno na základě hodnot získaných z dlouhodobě prováděných (2006–2011) diagnostických měření obytných budov, v rámci disertační práce autora s názvem: Vyšetřování a návrh sanace spodní stavby vybraných konstrukčních soustav

¹ Ing. Zdeněk Peřina, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 350, e-mail: zdenek.perina@vsb.cz.

panelových obytných budov [2]. V této práci je možno se blíže obeznámit s průběhem, rozsahem a obsahem takových diagnostických měření realizovaných přímo v terénu. Mimo výše zmíněnou disertační práci autora, nebyly výsledky laboratorního ověřování infračerveného radiometrického systému nikde zveřejněny.

2 VYBAVENÍ A SESTAVENÍ LABORATOŘE

Principem ověřování hodnot povrchových teplot konkrétního infračerveného radiometrického systému, je vytvoření vzorku (etalonu) u kterého jsou známy zájmové fyzikální a fyzikálně-chemické parametry. Dále je snahou co nejvěrněji simulovat proměnlivé externí vlivy, které se za reálných měření běžně vyskytují. Vlastní procedura „ověřování“ se pak sestává z porovnávání povrchových teplot na různě fyzikálně-chemicky definovaných etalonech, kontaktně měřených dotykovým teploměrem a bezkontaktní infračervenou metodou, a to za různě nastavených parametrech prostředí.

2.1 Infračervený radiometrický dlouhovlnný systém – infračervená kamera

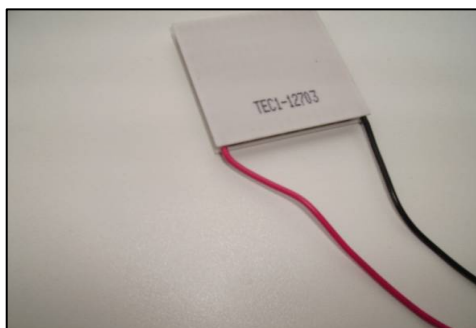
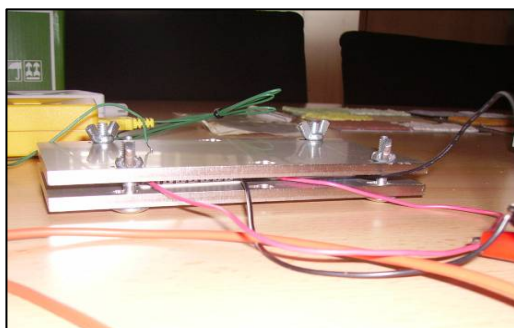
Základem laboratorní sestavy je infračervený radiometrický dlouhovlnný systém ThermoCAM FLIR[®] B4 pořízený v roce 2005 (viz obr. 1) s nechlazeným FPA mikrobolometrickým detektorem o rozlišení 320×240 , se spektrálním rozsahem $7,5\text{--}12\text{ }\mu\text{m}$ (dlouhovlnný systém), s citlivostí od $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozsahem měření: $-20\text{ až }+55\text{ }^{\circ}\text{C}$, zobrazovacím LCD $2,5''$ a s detekcí teploty rosného bodu.



Obr. 1: Infračervený radiometrický dlouhovlnný systém Flir ThermoCAM[®] B4

2.2 Topné těleso

Pro řízené prohřívání vzorku bylo navrženo a vyrobeno topné těleso tak, že mezi topnými nerezovými deskami je osově souměrně umístěn termoelektrický (peltierův) článek (viz obr. 2), aby prohříval obě poloviny vzorku. Keramická destička termoelektrického článku je přilepena z vnitřní strany zahřívací nerezové desky samolepicí teplovodivou folií pro zabezpečení optimálního přenosu tepla mezi termoelektrickým článkem a topnými nerezovými deskami. Pro změnu napětí v termoelektrickém článku, tak aby došlo k regulovatelnému zahřívání jedné keramické destičky článku (druhá destička se ochlazuje), byl použit laboratorní lineární zdroj PS1502A.



Obr. 2: Topné těleso: nerez desky a peltierův článek (TEC1-12703)

Zahříváním termoelektrického článku dochází k postupnému řízenému zahřívání nerezové desky, na které je umístěn vzorek. Pro dosažení ustálené požadované teploty vzorku stačí tedy změna velikosti protékajícího proudu termoelektrickým článkem, která se na výše uvedeném zdroji provádí otočným regulátorem.

2.3 Kontaktní měření povrchových teplot

Povrchové teploty na vzorku byly měřeny dotykově pomocí multifunkčního přístroje Ahlborn® 2590-3S (viz obr. 3) a NiCr nalepovacích čidel. Teplota byla snímána pomocí dvou kanálů (dvou čidel) a to na každé polovině vzorku, tak aby byla změřena povrchová teplota jak na světlejším, tak na tmavším odstínu vzorku (viz obr. 3).



Obr. 3: Multifunkční přístroj Ahlborn® 2590-3S a dotyková NiCr čidla umístěná na vzorku

Před každým měřením vzorku došlo k automatické kalibraci NiCr čidel, tak že před nalepením čidel na vzorek byla odečtena teplota z obou kanálů a porovnána s teplotou prostředí měřenou digitálním přístrojem Greisinger® GFTH 95 (viz obr. 4). Pro odstínění snímání jiných než povrchových teplot přímo na vzorku, byla obě čidla přelepena reflexní samolepicí folií.

2.4 Měření intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení vzorku byla měřena pomocí multifunkčního přístroje Ahlborn® 2590-3S a luxsondy (viz obr. 3). Luxsonda byla umístěna v těsné blízkosti měřící sady a to vždy koplanárně s rovinou vzorku. Sonda byla v průběhu měření umisťována postupně na tři různá místa (vlevo, vpravo a nad měřící sadou) v blízkosti vzorku, tak aby byla změřena co nejreálnější hodnota intenzity osvětlení v místě měření.

2.5 Měření ostatních parametrů prostředí

Teplota vzduchu, vlhkost, a atmosférický tlak v místnosti byly pro potřeby pokusu měřeny digitálním přístrojem Greisinger® GFTH 95 (viz obr. 4). Odečtené hodnoty byly zaznamenávány do protokolu měření. Umístění přístroje je uvedeno ve schématu měření (viz obr. 6) a místo bylo zvoleno s ohledem na získání použitelných hodnot.



Obr. 4: Přístroj Greisinger® GFTH 95

2.6 Měřící sada – etalon

Měřící sada (etalon) se skládá ze dvou ocelových (zahřívacích) nerezových desek velikosti 145 × 75 mm, tloušťky 5mm, termoelektrického (peltierova) článku a ocelové žárově pozinkované desky velikosti 145 × 75 mm, tloušťky 1mm s naneseným vzorkem omítkoviny, nebo fasádní barvou,

tloušťky 0–3mm (viz Obr. 5). Pozinkovaná deska s fasádní barvou nebo omítkovinou (dále jen vzorek) je připevněna k topným nerezovým deskám pomocí šroubů a křídlových matic (viz obr. 3).



Obr. 5: Vzorek: pozinkovaná ocelová deska s omítkovinou

2.7 Prostředí okolí – teplota vzduchu

Pro simulaci reálného proměnlivého okolního prostředí, byla laboratoř umístěna do klimatizované (Toshiba® RAV-SM802KRT-E) místnosti s možností zastínění okenních otvorů (okenní žaluzie a interiérové zatmívací rolety) a s možností odfiltrování nežádoucích vlivů (jako je například zdánlivě odražená teplota venkovního prostředí, objektů odrazujících se ve sklech oken apod.). Místnost je okny orientovaná na severovýchod. Velikost laboratoře je $7,20 \times 5,60 \times 3,00$ m.

V místnosti byla ustálena vlhkost vzduchu (cca 50–70%) a prostřednictvím klimatizační jednotky bylo možno měnit teplotu vzduchu místnosti od $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro odstínění vlivu proudění vzduchu byly kolem místa měření rozestavěné kartonové krabice do výšky 1,8m.

2.8 Prostředí okolí – intenzita osvětlení

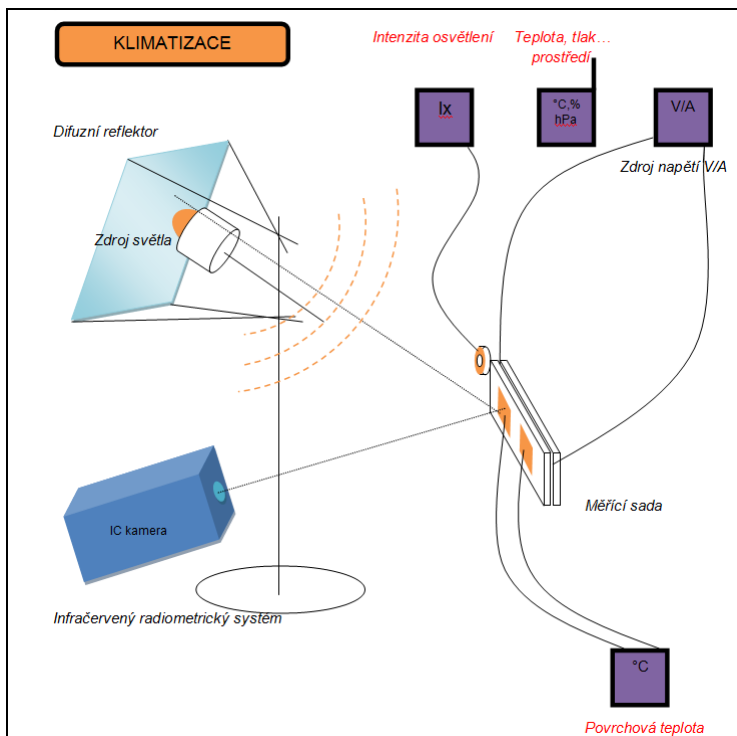
Pro zkoumání vlivu různé intenzity osvětlení na povrchovou teplotu vybraných vzorků byla použita běžná kancelářská lampa doplněná o difuzor z kartonu a pomačkaného alobalu, tak aby došlo k odfiltrování zdánlivě odražené teploty od povrchu žárovky. Pro dosažení různé intenzity bylo v experimentu počítáno s použitím vláknových (klasických) žárovek s výkonem 25, 40, 60 a 100 W. Intenzita osvětlení byla měřena v těsné blízkosti vzorku na minimálně třech různých místech (vpravo, vlevo a nad měřicí sadou) a hodnota použitá pro další měření tvoří průměr z těchto všech odečtených hodnot.

2.9 Teplota vzorků – chlazení

Pro dosažení proměnlivé teploty vzorků (etalonů) bylo použito vychlazení vzorků (celé měřicí sady v mrazničce až na teplotu -15 až $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měřicí sada byla před vložením do mrazničky zabalena do vzduchotěsného PE sáčku. Pro eliminaci kondenzace vzduchu uzavřeného v sáčku v průběhu zchlazování, byl do sáčku s měřicí sadou vložen silikagel. Po postupném vytemperování vzorku na teplotu blízkou teplotě okolního prostředí byla měřicí sada zahřívána termoelektrickým článkem až na požadovanou ustálenou teplotu.

3 NASTAVENÍ METODIKY MĚŘENÍ

Snahou bylo nastavit metodiku měření tak, aby co nejvěrněji napodobovala reálné měření v terénu a přitom aby zde zůstala možnost odfiltrovat nežádoucí nebo neměřitelné (neměřené) vlivy. Za tímto účelem bylo vytvořeno schéma měření (viz obr. 6), na jehož základě došlo k vybudování, vybavení a nastavení laboratoře viz kapitola 2. Za účelem optimalizace metodiky měření proběhlo několik ověřovacích měření, po kterých došlo k úpravám ve schématu měření, postupech, ale rovněž k výběru vhodnějších zařízení a pomůcek.



Obr. 6: Schéma měření – finální verze

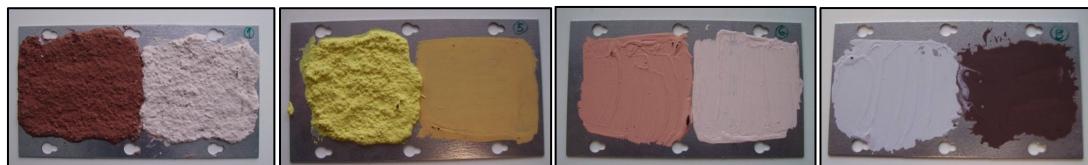
3.1 Výběr vzorků a parametrů prostředí

Časová náročnost měření jedné měřicí sady se v průběhu pilotního měření pohybovala kolem 2–3 hodiny, což v daném vymezeném časovém úseku neumožňovalo změřit všechny vyrobené vzorky. Navíc v průběhu měření došlo ke značnému opotřebování vzorků s fasádní barvou (vzorky č. 6 a 8), takže další měření s těmito vzorky bylo vyloučeno. S ohledem na tyto skutečnosti bylo nutno omezit počet sérií měření a počet hodnot vybraných parametrů prostředí.

Do experimentu ověřování hodnot získaných z infračerveného radiometrického dlouhověkého systému ThermaCAM FLIR® B4 byly vybrány vzorky č.:

- 1: silikonová omítkovina Baumit č. 3383 – barva tmavě hnědá, Baumit 3127 – béžová,
- 5: silikonová omítkovina Baumit č. 3011 – barva žlutá, silikonový fasádní nátěr JUB č. 1071 – tm. oranžová,
- 6: akrylový fasádní nátěr Cemix č. MD142 – barva hnědá, akrylový fasádní nátěr Cemix č. MD145 – světle hnědá,
- 8: akrylový fasádní nátěr JUB č. 1504 – barva bílá, akrylový fasádní nátěr Baumit č. 3387 – tmavě hnědá,

Vybrané výše uvedené vzorky (viz obr. 7) charakterizují průřez jak z hlediska použitých materiálů, tak různých barev jejich sytosti a odstínů.



Obr. 7: Vzorky č. 1, 5, 6 a 8

Vzhledem ke zničení vzorků 6 a 8, k nimž došlo v průběhu měření, nebyly tyto zahrnuty do poslední sestavy měření při teplotě prostředí (T_{amb}) +24 °C a průměrné intenzitě osvětlení –2 a 400 luxů. Kompletní parametry sestav (setů) měření názorně demonstuje Tabulka 1.

Co se týče měřených a do experimentu zahrnutých proměnlivých parametrů prostředí byly definovány hodnoty pro intenzitu osvětlení a to:

- a) bez osvětlení = průměrná hodnota intenzity osvětlení: cca –2 luxy,
- b) s osvětlením (použita žárovka 100W) = průměrná hodnota intenzity osvětlení: cca 400 luxů.

A dále byly stanoveny (nastaveny) hodnoty pro teplotu prostředí (T_{amb}) a to: cca +18 °C, +22 °C a + 24 °C. Ostatní parametry byly závislé na atmosférických okolnostech (atmosférický tlak, vzdušná vlhkost) a nedaly se přístrojovým vybavením laboratoře ovlivnit – nicméně i tyto hodnoty byly evidovány a uvedeny v protokolech z měření (Příloha 2 – disertační práce autora) pro případné pokračování experimentu.

Tab. 1: Vzorky a parametry jednotlivých sestav měření

	$T_{amb} = +18\text{ °C}$		$T_{amb} = +22\text{ °C}$		$T_{amb} = +24\text{ °C}$	
vzorek č. 1	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx
vzorek č. 5	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx
vzorek č. 6	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	x	x
vzorek č. 8	–2 lx	400 lx	–2 lx	400 lx	x	x

4 VÝSLEDKY OVĚŘOVACÍCH LABORATORNÍCH MĚŘENÍ

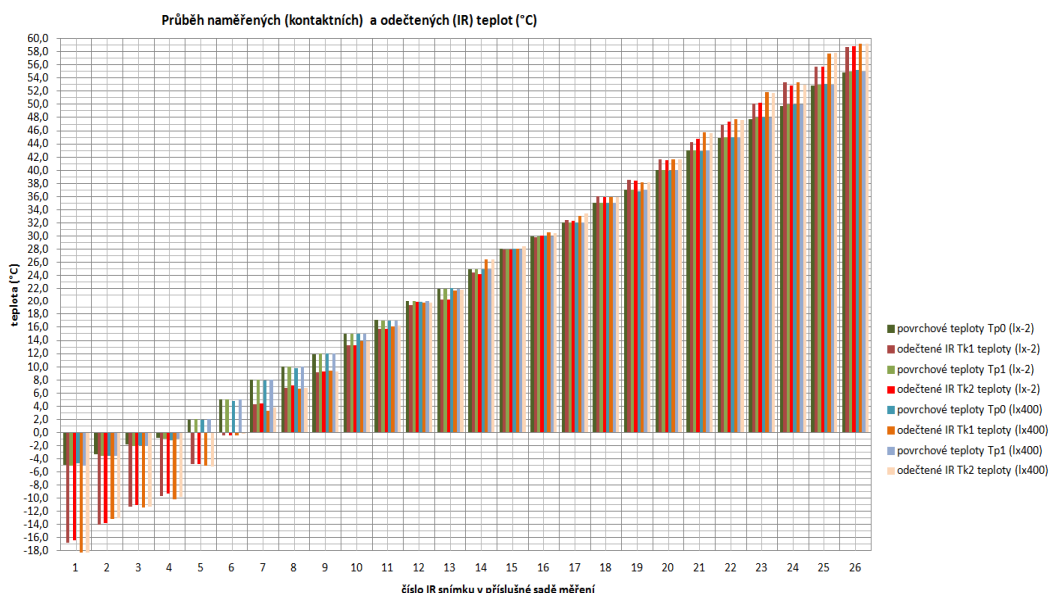
V této kapitole budou komentovány výsledky provedených měření, rozborů, analýz, výpočtů a simulací záznamů měření, které jsou publikovány v disertační práci autora [2]. Pokud jde o laboratorně nasimulované vlivy okolního prostředí na měření, tak jak byly zmíněny v kapitole 3.1, byly vybrány tyto:

- a) intenzita osvětlení (I_x) (simulováno umělým osvětlením),
- b) emisivita materiálu (ε) (resp. druhu, barevném odstínu apod.),
- c) teplota okolí (T_{amb}) (resp. odražená zdánlivá teplota (T_{refl})).

Tyto vlivy by se měly, na základě teoretických předpokladů, podstatnou měrou podílet na výsledných hodnotách zjištěných infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem dle nastavené metodiky viz kapitola 3. Vlivů, které se ve skutečnosti podstatnou měrou spolupodílejí na „přesném měření“ je samozřejmě více, než jen zde výše uvedené; nicméně buď byly eliminovány zvolenou metodikou měření, nebo se jejich vliv zanedbává z důvodu nemožnosti jejich simulace v rámci laboratorních měření.

4.1 Vliv intenzity osvětlení a závislost teploty okolí

Průměrné hodnoty rozdílů teplot (kontaktně a nekontaktně zjištěných) v závislosti na teplotě okolí T_{amb} (resp. T_{refl} – odražené zdánlivé teplotě) se nijak zásadně (v laboratorně nastavených hodnotách intenzity osvětlení, tzn. cca $-2lx$ a $400lx$) neprojeví. Přesné parametry jsou uvedeny v jednotlivých rozbořech měření viz například obr. 8 (ostatní viz Příloha 3, disertační práce autora [2]). Odchytky v řádu desetin lze za definovaných nejistot měření zcela zanedbat s ohledem na nejistoty měření.

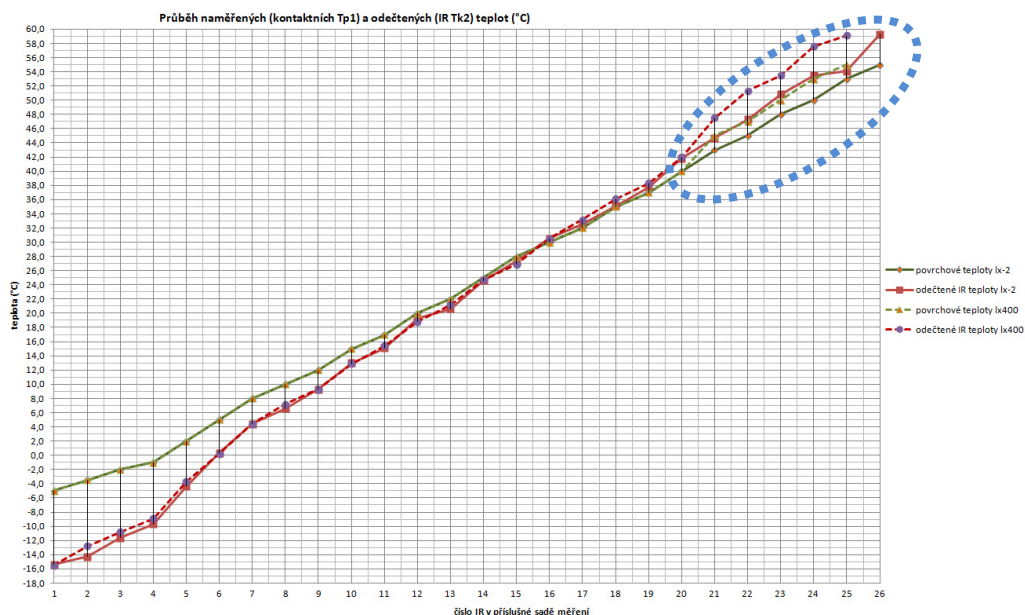


Obr. 8: Graf průběhu naměřených kontaktních teplot a odečtených ič teplot v závislosti na intenzitě osvětlení – příloha 3.01d [2]

4.2 Vliv intenzity osvětlení a závislost barevného odstínu

Průměrné hodnoty rozdílů teplot (kontaktně a nekontaktně zjištěných) se, v rámci zvolených barevných odstínů a nastavených intenzit osvětlení, rovněž nijak zásadně neprojeví. Pouze u vzorku č. 5 byl zjištěn větší rozdíl jak v průměrných hodnotách rozdílů teplot, tak dalších parametrů rozboru jako je průměrná a směrodatná odchylka.

Zde je ovšem nutno toto zjištění připsat různé emisivitě materiálů (světlejší odstín z probarvované kašovitě silikonové omítkoviny, tmavší odstín silikonový fasádní nátěr apod). Při porovnání vzorku č. 5, viz obr. 9 (protokol č. 3.04), jsou patrné větší rozdíly teplot při teplotě vzorku nad $40^{\circ}C$ v polovině vzorku s fasádním nátěrem. Nicméně jsou vyšší jak kontaktně měřené povrchové teploty, tak i nekontaktně zjištěné. Je to zapříčiněno rozdílnou tloušťkou materiálů na obou polovinách téhož vzorku a tím, že hodnoty kontaktně měřených teplot jsou vztaženy k předem zvoleným kontrolním teplotním měřicím bodům v jedné části vzorku ($-5^{\circ}C$, $-3,5^{\circ}C$, až $+55^{\circ}C$). Polovina vzorku s kašovitou silikonovou omítkou měla větší tloušťku (konkrétně v případě vzorku č. 5), takže než se tlustší část vzorku prohrála na požadovanou teplotu kontrolního měřicího bodu, tak se tenčí polovina vzorku zahřála na teplotu o něco vyšší.



Obr. 9: Graf průběhu naměřených kontaktních teplot a odečtených ič teplot v závislosti na barevnosti vzorku – příloha 3.04c [2]

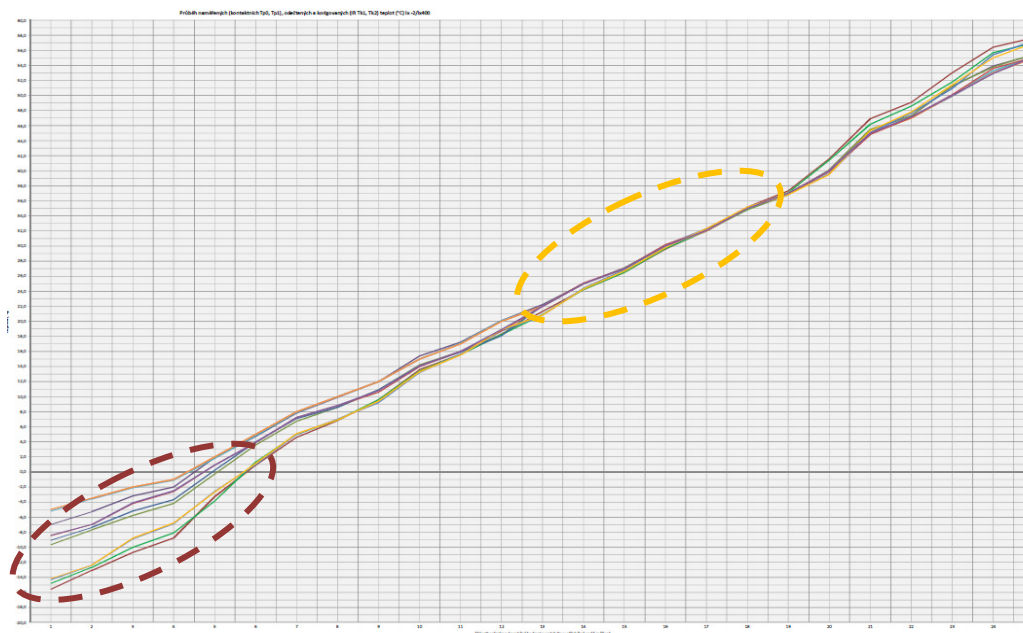
4.3 Vliv volby emisivity materiálu na intenzitě osvětlení

Na obr. 10 je v grafech znázorněn výpočet vlivu volby (zjištění) správné emisivity materiálu na intenzitě osvětlení.

V oblastech $+10\text{ °C}$ až -5 °C (fialová elipsa) je rozdíl mezi kontaktně a nekontaktně zjištěnou teplotou, tak velký, že ani dosazením emisivity ε blízké se hodnotě 1 nebylo dosaženo korekce nekontaktně zjištěné teploty na hodnoty kontaktně změřené. V ostatních případech, kde rozdíl mezi kontaktně a nekontaktně zjištěnými hodnotami povrchových teplot nebyl větší než cca 30 %, došlo ke korekci, až na 100 % povrchově změřených hodnot viz obr. 10.

Zde se nabízí možnost pokračování (rozšíření) experimentu spočívající ve zjišťování skutečné hodnoty emisivity zmrazeného vzorku. Existuje velká míra pravděpodobnosti, že jinovatkou pokrytý vzorek (později za vyšších teplot pokrytý vodním filmem) má jinou hodnotu emisivity, než materiál se suchým povrchem. V rozsahu teplot kolem $+20\text{ °C}$ až $+35\text{ °C}$ (žlutá elipsa) se pak obě zjištěné teploty shodují s přesností na desetinu stupně kelvina – bez nutnosti korekce emisivity viz obr. 10.

Na základě provedených laboratorních měření se vliv intenzity osvětlení za nastavených laboratorních podmínek neprokázal. Ukazuje se však, že emisivita měla, za laboratorně nastavených parametrech okolního prostředí a použitým přístrojovým vybavením, cca až 30% podíl na případnou korekci teplot zjištěných nekontaktně, tak aby bylo po korekci dosaženo hodnot změřených kontaktně. Pro další korekci nekontaktně zjištěných teplot, viz kapitola 4.5, byly použity průměrné hodnoty emisivit z oblasti největší shody teplot kontaktně i nekontaktně zjištěných analýzou naměřených kontaktních teplot a odečtených ič teplot v závislosti na korekci emisivity (viz disertační práce autora [2]).



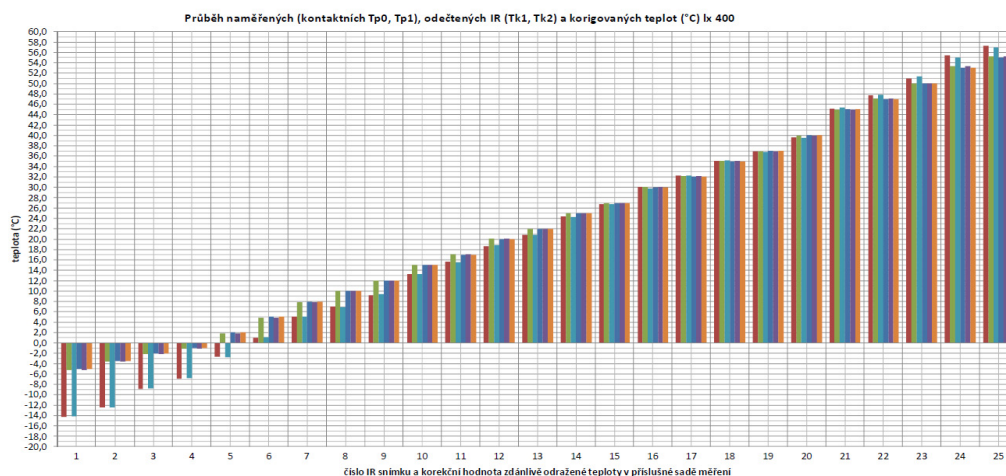
Obr. 10: Graf průběhu naměřených kontaktních teplot, odečtených ič teplot a ič teplot korigovaných emisivitou – příloha 3.07g4 [2]

4.4 Vliv emisivity materiálu na barevném odstínu vzorku

Tento vliv nelze zkoumat infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem – jde totiž o spektrální závislost, kterou dlouhovlnný systém není schopen snímat.

4.5 Vliv teploty okolí resp. vliv odražené zdánlivé teploty

Tento vliv byl zkoumán v rámci disertační práce autora [2]) a jak ukazují výpočty a grafy, tento parametr má **zásadní vliv** na teploty zjištěné infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem bez ohledu na intenzitě osvětlení a s mnohem menším vlivem emisivity materiálu. Korekci hodnoty odražené zdánlivé teploty bylo dosaženo shody kontaktně i nekontaktně zjištěných teplot



Obr. 11: Průběh naměřených kontaktních teplot, odečtených ič teplot a ič teplot korigovaných odraženou zdánlivou teplotou – příloha 3.07h3 [2]

a to i v oblasti $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde by korekce emisivity nepostačila ke shodě obou teplot viz obr. 11. Odražená zdánlivá teplota může ovlivnit zobrazené teploty infračerveného radiometrického systému až o 70 %, a je zřejmé, že jde o **zásadní parametr**, který například zcela chybí u infračervených bezkontaktních teploměrů (ty modernější mají alespoň možnost zadání emisivity).

Jedinou nezodpovězenou otázkou zůstává, co zapříčinilo tak rozdílné povrchové teploty kontaktně a nekontaktně zjištěné, v oblasti $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Možnosti korekce jsou sice uvedeny výše – nicméně jediným prokazatelným řešením je provedení kontrolního měření kalibrovaným infračerveným radiometrickým dlouhovlnným systémem. Zajímavou skutečností bylo zjištění, že největších přesností bylo dosaženo v okolí teploty $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ což je teplota uváděna i výrobcem při specifikaci teplotní citlivosti systému.

5 ZÁVĚR

V průběhu experimentu bylo odečteno celkem 4000 hodnot povrchových teplot ať už získaných dotykově nebo nekontaktně pomocí infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému, pro 4 různé vzorky, 8 odlišných barev, 4 různé materiály, 5 různých parametrů prostředí a 20 sérií měření.

Účelem vyhodnocení naměřených dat nebyla matematická (statistická) analýza, ale definování vlivů prostředí na kvantifikaci zjištěných veličin infračerveným radiometrickým systémem, jejich případnou možnost odfiltrování za účelem získání skutečných hodnot zjištěných povrchových teplot. Dále ověřit případnou možnost využívat v budoucnu tento (nebo podobný) infračervený systém pro diagnostická měření využívající kvantitativní srovnávací metody pro stanovení skutečných okamžitých hodnot zjišťovaných veličin, jako je například hustota tepelného toku apod.

Závěrem je možno vyhodnotit tento experiment jako úspěšný, neboť bylo prokázáno, že okolní vlivy působící na nekontaktně zjišťované teploty, pomocí infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému, lze jak zjišťovat, tak odfiltrovat, tak by byla zaručena očekávaná přesnost veličin za definovaných nejistot měření. Bylo by jistě zajímavé v experimentu pokračovat a zjišťovat působení dalších vlivů (rychlost větru, větší intenzity osvětlení apod.) za použití kalibrovaných diagnostických přístrojů, případně dalších diagnostických zařízení, především s ohledem na možnost provedení kontrolních měření. Využití infračerveného radiometrického dlouhovlnného systému pro srovnávací kvantitativní termografii ve stavební praxi je možné, nicméně jedině kalibrovaným radiometrickým systémem a spolu s dalšími přesnými laboratorními přístroji.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Praha: ČNI, 2002 – 2011.
- [2] PEŘINA, Z. Vyšetřování a návrh sanace spodní stavby vybraných konstrukčních soustav panelových obytných budov – disertační práce. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Ladislav Štěpánek, CSc., Ústav pozemního stavitelství, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Dr. Ing. Michal Lesňák, Institut fyziky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.